

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора, профессора кафедры «Ракетное вооружение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» Ветрова Вячеслава Васильевича на диссертационную работу Виндекера Александра Викторовича «Метод определения проектных параметров блока газовых рулей в составе системы склонения беспилотного летательного аппарата класса «поверхность – воздух», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 - «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертации

Вертикальный старт беспилотного летательного аппарата (БЛА) класса «поверхность – воздух» обладает известными тактическими и баллистическими преимущественными по сравнению с наклонным стартом. Однако, в отличие от наклонного старта, при котором пусковая установка разворачивается в направлении цели, вертикальный старт требует интенсивного склонения БЛА в направлении цели. Наиболее сложные условия вертикального старта БЛА имеют место при старте с корабля в условиях его хода и качки. При этом для обеспечения всеракурности применения БЛА требуется управление при склонении по всем трем каналам, включая крен. Ввиду малости аэродинамических сил в момент выхода БЛА из транспортно-пускового контейнера (ТПК) управление при вертикальном старте реализуется газодинамическими способами. В настоящее время склонение БЛА осуществляют двумя основными способами: первый состоит в применении системы управления вектором тяги (СУВТ) основного двигателя БЛА, второй предполагает использование автономных газодинамических устройств.

Выбор рационального способа склонения и устройства для его реализации является не тривиальной задачей, требует проведения всесторонних

исследований на этапе формирования облика БЛА класса «поверхность – воздух» и последующих эскизного и технического проектирования. В связи с этим тема представленной диссертационной работы, посвященной исследованию способов склонения БЛА с выходом на задачи проектирования блока газовых рулей в составе системы склонения БЛА является *актуальной*.

Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

К новым научным результатам диссертационного исследования следует отнести предложенным соискателем ученой степени *метод* определения проектных параметров блока газовых рулей в составе системы склонения БЛА класса «поверхность – воздух» с использованием «горячего» или «холодного» вертикального старта, удовлетворяющий в том числе требованиям морского базирования, и реализующие его *методики*:

– методика выбора по критерию массы БЛА рациональной системы склонения, в которой в качестве альтернативных вариантов рассматриваются: СУВТ, реализуемая газовыми рулями, размещаемыми в сопле двигателя БЛА или за его срезом, импульсная двигательная установка (ИДУ) и автономное устройство пропорционального управления (АУПУ);

– комплексная методика проектирования блока газовых рулей системы склонения БЛА, предназначенная для обоснованного выбора конструкционного материала газовых рулей и определения их потребных геометрических параметров с учетом уноса рекомендуемого материала с передней кромки.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, подтверждается корректностью постановок задач исследования; строгостью применяемых математических

моделей и методов; использованием в методиках экспериментальных данных, приведенных в публикациях отечественных исследователей – разработчиков БЛА рассматриваемого класса; сравнением результатов, полученных автором диссертации, с известными опубликованными решениями в данной области.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационной работы определяется развитием методологии исследования и проектирования систем склонения БЛА класса «поверхность – воздух» с вертикальным стартом. Практическая значимость состоит в разработке инструментария в виде методик определения проектных параметров блока газовых рулей, доведенных до их практической реализации и направленных на сопровождение научно-исследовательских работ, связанных с разработкой систем склонения БЛА рассматриваемого класса.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во введении диссертационной работы обоснована актуальность темы исследования, определены цели и научные задачи работы, обозначены ее научная новизна и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе соискатель проводит обзор возможных способов и систем склонения БЛА класса «поверхность – воздух»; раскрывает принципы и анализирует возможные схемы систем склонения БЛА; приводит примеры реализованных к настоящему времени систем склонения БЛА; дает краткий обзор работ, посвященных вопросам исследования и проектирования систем склонения БЛА, а также патентов, посвященных, в первую очередь, конструктивным решениям газовых рулей.

Завершается глава постановкой общей задачи диссертационного исследования.

Во второй главе диссертационной работы представлены типовые требования технического задания (ТЗ) на разработку БЛА класса «поверхность – воздух», относящиеся к управлению склонением при вертикальном старте, и схематично изложен метод определения параметров блока газовых рулей в составе системы склонения БЛА, удовлетворяющей требованиям морского базирования с использованием «горячего» или «холодного» вертикального старта.

В соответствии с предлагаемым методом задача определения проектных параметров блока газовых рулей решается в три взаимосвязанных этапа. На первом проводится сравнительный анализ альтернативных систем склонения по критерию минимума массы проектируемого БЛА с целью обоснования целесообразности использования СУВТ, реализуемой газовыми рулями, в качестве системы склонения. Второй этап связан с обоснованием выбора конструкционного материала и определением потребной внешней геометрии газового руля с учетом уноса материала с его передней кромки реактивной струей двигателя. Критерием выбора рационального материала принято отношение полной площади газового пуля (с учетом унесенной площади) к минимальной площади, необходимой для создания потребной управляющей силы. На этом же этапе уточняются проектные параметры системы склонения БЛА с газовыми рулями, полученные на предыдущем этапе при формировании облика БЛА. Потребность такого уточнения связана с приближенностью расчета параметров газовых рулей, в частности из-за не учета их обгорания в реактивной струе двигателя. Третий, заключительный этап состоит в конструкторско-технологической проработке газовых рулей и их размещения в сопловом блоке или за его пределами.

В третьей главе рассмотрена задача сравнительного анализа альтернативных способов и систем склонения класса «поверхность – воздух». Для ее решения соискателем разработана методика выбора рациональной системы склонения по критерию минимума массы проектируемого БЛА. Даны блок-схема и основные соотношения методики; представлены уравнения движения БЛА в плоскости склонения; приведены основные соотношения для расчета параметров альтернативных систем склонения, как использующих управление вектором тяги, так и автономные газодинамические устройства склонения.

С использованием разработанной соискателем методики решена задача сравнительного анализа альтернативных способов и систем склонения, обеспечивающих вертикальный старт гипотетического БЛА класса «поверхность – воздух» средней дальности, удовлетворяющих требованиям морского базирования. БЛА, выполненного по нормальной аэродинамической схеме, оснащенного ракетным двигателем твердого топлива и предназначенного для полета со скоростями, не превышающими 3...4 Маха.

Расчет параметров облика БЛА с альтернативными системами склонения выполнялся в программной среде «САПР ЛА», разработанной на кафедре 602 МАИ. В качестве альтернативных систем склонения рассматривались СУВТ двигателя, реализуемая с помощью газовых рулей, и специальные газодинамические устройства в виде ИДУ и АУПУ. Исследования альтернативных систем склонения проводились при варьировании важнейшего параметра требований ТЗ на разработку системы склонения БЛА – времени склонения. Применительно к системам склонения с газовыми рулями варьировался также не менее важный параметр – конструкционный материал, из которого выполнены рули. Сравнение полученных обликов БЛА по массовому критерию показало, что для исследуемых условий старта более

предпочтительной системой склонения является СУВТ двигателя с газовыми рулями по сравнению с устройствами автономного управления.

В четвертой главе представлена разработанная соискателем комплексная методика проектирования блока газовых рулей системы склонения БЛА класса «поверхность – воздух». Даны блок-схема и основные соотношения методики; представлены результаты решения задачи выбора конструкционного материала и внешних геометрических параметров газового руля с учетом уноса материала с его передней кромки с оценкой эффективности использования применяемого материала, а также сравнительного анализа компоновочных схем и конструктивно-технологических решений блока газовых рулей.

В качестве альтернативных конструкционных материалов рассматривались три материала: сталь, углеметаллопластик (УМП) и вольфрам. Выбор конструкционных материалов был продиктован разными физическими свойствами данных материалов: эрозионно-стойкостными свойствами и плотностью, существенно влияющими на массу газового руля. Результаты расчета газовых рулей с учетом уноса материала с передней кромки свидетельствуют о том, что для различного времени склонения рациональными, являются различные материалы. Так, в частности, при времени склонения, равном 1,5с рациональным конструкционным материалом оказалась сталь, а при времени склонения, равном 3с – УМП.

Найдены также основные компоновочные и конструктивно-технологические параметры блока газовых рулей системы склонения для БЛА класса «поверхность – воздух» средней дальности.

В заключении перечислены основные результаты диссертационной работы и сделаны выводы.

Замечания по диссертационной работе.

- 1) В диссертации при математическом описании движения БЛА в явном виде не присутствуют матрицы перехода между системами координат, что затрудняет понимание полученных результатов.
- 2) Автором предлагается использовать метод последовательных приближений в нелинейной форме для расчета уравнений поступательного движения БЛА на участке склонения. В этом случае для нахождения собственных векторов системы (3.3) приходится многократно численно решать системы нелинейных дифференциальных уравнений (3.3 – 3.5), что является достаточно трудоемкой задачей.
- 3) В тексте диссертации не отражены в должной мере взаимосвязи между методиками, реализующими метод определения проектных параметров блока газовых рулей в составе системы склонения БЛА, что мешает целостному восприятию данного метода, разработанного соискателем.
- 4) В качестве определяющего критерия при выборе варианта системы склонения соискателем принята минимальная масса ЛА. С этим можно было бы согласиться, если остальные значимые параметры, например, подлетная скорость к цели на заданном расстоянии, были бы примерно одинаковы. Но когда масса ЛА с предпочтительным вариантом системы склонения меньше на 10%, а подлетная скорость к цели этого варианта ниже на 40% чем у варианта с импульсными двигателями системы склонения (см. табл. 3.10 в тексте диссертации), то возникает вопрос, а какой же вариант лучше по глобальному критерию совершенства БЛА.
- 5) Конструктивно-технологическая проработка блока газовых рулей в составе БЛА проводилась соискателем на основе непонятого критерия рациональности компоновки. Было бы целесообразно оценить влияние каждой из альтернативных компоновок блока газовых рулей на снижение тяги

ракетного двигателя, решив для этого задачи газодинамического обтекания рулей струёй ракетного двигателя методом численного моделирования и выбрав при этом в качестве критерия предпочтительности относительное уменьшение тяги.

б) В тексте диссертации и автореферата имеются незначительные орфографические и синтаксические ошибки.

Соответствие диссертации заявленной специальности.

Представленная диссертация соответствует следующим областям исследования специальности 05.07.02: п.3. Разработка методов поиска оптимальных конструкторско-технологических решений на ранних стадиях проектирования БЛА. п.9. Разработка методов, моделей и программного обеспечения для принятия оптимальных решений с целью исследования проектно-конструкторских задач при заданных ограничениях с учетом их компромиссного характера, риска и различимости сравниваемых вариантов изделий (процессов).

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней.

В целом, несмотря на отмеченные замечания, представленная диссертационная работа выполнена на хорошем уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для науки и практики и связанной со снижением сроков и затрат на разработку беспилотных летательных аппаратов.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на десяти международных научных конференциях, опубликованы в трех научных трудах, два из которых опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа по актуальности избранной темы, содержанию, объему и глубине проведенных исследований, ценности полученных научных и практических результатов, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, полученных лично автором, их достоверности удовлетворяет критериям, предъявляемым «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842. Автор диссертационной работы, Виндекер Александр Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 - «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов».

Профессор кафедры «Ракетное вооружение», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», д.т.н., профессор, Заслуженный работник высшей школы РФ

Ветров
24.01.22

В.В. Ветров

300012, г. Тула, пр-т Ленина, 95, учебный корпус №1
Телефон: 8 (4872) 35-18-79
E-mail: rs@tsu.tula.net

Подпись Ветрова Вячеслава Васильевича удостоверяю:

Верующий специалист по карровой работе

(должность)

Куз

(подпись)

В.В. Ветров

(Ф.И.О.)



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет»

С отзывом ознакомлен

А.В. Виндекер

Виндекер
31.01.2022